

**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

Ogräsbekämpning genom frysning med flytande kväve och kolsyresnö

- en jämförelse med flamning

**Weed Control by Freezing with Liquid Nitrogen
and Carbon Dioxide Snow**

- A comparison between flaming and freezing

Susanne Fergedal

Institutionen för lantbruksteknik

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural Engineering**

Rapport 165

Report

Uppsala 1993

ISSN 0283-0086

ISRN SLU-LT-R--165--SE

Institution/motsvarande Institutionen för lantbruks- teknik		Dokumenttyp Rapport	
		Utgivningsår 1993	Målgrupp F R
Författare/upphov Fergedal, S.			
Dokumentets titel Ogräsbekämpning genom frysning med flytande kväve och kolsyre- snö - en jämförelse med flämning Weed Control by Freezing with Liquid Nitrogen and Carbon Dioxide Snow - A comparison between flaming and freezing			
Amnesord (svenska och /eller engelska) weed control, weeds, burning, freezing liquid nitrogen, solid carbon dioxide economy, energy consumption physical control energiförbrukning, ogräseffekt			
Projektnamn (endast SLU-projekt)			
Serie-/tidskriftstitel och volym/nr Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för lantbruksteknik, Rapport 165			ISBN/ISRN SLU-LT-R--165SE
			ISSN 0283-0086
Språk Svenska	Smf-språk Svenska	Omfång 38 s	Antal ref. 29

Postadress

Besöksadress

Telefonnummer

Telefax

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Utlunbiblioteket, Förvarvsavdelningen/LANTDOK
Box 7071
S- 750 07 UPPSALA
Sweden

Centrala Ultuna 22
Uppsala

018-67 10 00 vx
018-671103

018-3010 06

ABSTRACT

Weed control by freezing has been compared with flaming in order to find out if it can be a complement to the methods used today. Two different media has been used for weed control by freezing; liquid nitrogen, which has a temperature of -196°C , and carbon dioxide snow, which has a temperature of -78°C . Liquified petroleum gas (LPG) was used for flaming.

During the summer of 1991, the effects of varying doses of liquid nitrogen, carbon dioxide snow and flaming where compared in field trials.

Weed control by freezing with liquid nitrogen or carbon dioxide snow is a method that works. The method can be used more or less in the same way as flaming. Trials so far, however, show that freezing consumes more energy than flaming to reach the same effect on dicotyledonous weeds. Compared with flaming, freezing with liquid nitrogen consumes three times as much energy and freezing with carbon dioxide snow consumes six times as much energy, to reduce the number of weeds by 90%.

Weed control by freezing is an expensive method because of the large quantities of freezing media required to obtain good results. The equipment used to spread the freezing media on the weeds is a very simple experimental model. It can probably be improved in order to be more energy effective. Even if this is the case, it is probably difficult to develop the equipment for freezing to such an extent that freezing can compete with flaming as a method for weed control. Although under certain conditions, freezing might be a useful method, for example in places where there is a great risk of fire.

FÖRORD

Bekämpning av ogräs på gatumark med kemiska bekämpningsmedel har av miljöskäl förbjudits i de flesta svenska kommuner. Det är nu därför mycket angeläget att finna miljövänliga och ekonomiska metoder för ogräsbekämpning.

Ogräsbekämpning genom frysning med flytande kväve och kolsyresnö har bedömts vara ett intressant alternativ för bekämpning av ogräs på hårdgjorda ytor.

Projektets mål har varit att beskriva ogräseffekt och energiåtgång samt miljökonsekvenser vid frysning av ogräs med flytande kväve och kolsyresnö i jämförelse med flamning med gasol. Projektet har finansierats av Byggforskningsrådet, projektnummer 900825-5, med projekttiteln "Ogräsbekämpning genom frysning". Sven Erik Svensson vid avd. för park- och trädgårdsteknik har som projektledare varit ansvarig för projektet.

I denna rapport redovisas ogräseffekt och energiåtgång vid frysning och flamning av ogräs. Miljökonsekvenserna redovisas i en separat rapport (Rapport nr 168, Institutionen för lantbruksteknik, Uppsala, 1993), som författats av Sigvard Larsson, avd. för park- och trädgårdsteknik, Alnarp.

Susanne Fergedal vid avd. för park- och trädgårdsteknik, Alnarp har varit ansvarig för uppläggning och utvärdering av försöken samt utarbetat denna rapport.

Vi vill rikta ett stort tack till Magnus Nilsson avd. för park- och trädgårdsteknik som byggt försöksutrustningen och varit behjälplig vid utförande av försöken, samt till Johan Ascard, avd. för park- och trädgårdsteknik som tjänstvilligt svarat på frågor och givit värdefulla synpunkter på rapporten. Dessutom vill vi tacka Lars Cronheim, Alfax AB, som bidragit med teknisk kompetens angående frysning med flytande kväve och kolsyresnö, samt Alfax AB som bidragit med flytande kväve och koldioxid.

Avdelningen för park- och trädgårdsteknik vid Institutionen för lantbruksteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp, januari 1993.

Sven-Erik Svensson

Susanne Fergedal

SAMMANFATTNING

Ogräsbekämpning genom frysning har jämförts med flamning för att se om frysning kan vara ett komplement till nuvarande bekämpningsmetoder. Vid frysning av ogräs användes flytande kväve ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) och kolsyresnö ($-78\text{ }^{\circ}\text{C}$) som frysmedia. Vid flamning användes gasol som bränsle.

Under sommaren 1991 genomfördes förberedande laboratorieförsök samt tre olika fältförsök. Försöken utfördes som dos-respons försök, med syfte att studera hur olika typer av växter påverkas vid frysning och flamning av stegrande doser av flytande kväve, koldioxid och gasol. Den utrustning som användes vid frysning var en enkel försöksutrustning. Vid flamning användes ett flamningsaggregat för radodling av fabrikatet Catter.

De synliga skadorna på växterna vid flamning och frysning var relativt lika varandra. Några skillnader kunde dock märkas som främst tycktes bero på växtsätt, art och plantans storlek. Frysning verkade främst skada växtens nedre delar, medan flamning skadade hela växten. Viss tendens fanns att flamning vid de lägre doserna främst skadade toppen av växterna. Orsaken till detta var troligen att de kalla gaserna stannade vid marken medan värmen från flamman steg uppåt.

Vid behandling med frysning och flamning på tvåhjärtbladiga växter var energiförbrukningen i samtliga fall mindre vid flamning än vid frysning för att nå samma ogräseffekt. Vid en jämförelse mellan de båda frysmetoderna var ogräsbekämpning med flytande kväve mindre energikrävande än ogräsbekämpning med kolsyresnö. Jämfört med flamning gick det åt ca 3 gånger så mycket energi vid frysning med flytande kväve och ca 6 gånger så mycket energi vid frysning med kolsyresnö, för att reducera antalet ogräs med 90 %.

Vid orienterande försök avlästes visuellt att ogräseffekten på gräs var lika bra vid behandling med flytande kväve som med flamning vid en energiförbrukning på 300 - 400 kJ/m². Vid en lägre energiinsats var däremot frysning med flytande kväve sämre än flamning. Vid behandling med kolsyresnö åtgick betydligt mer energi än för de båda andra metoderna.

Det gick åt stora volymer frysmedia för att nå en god bekämpningseffekt, 1.46 kg flytande kväve per m² jämfört med 0.0035 kg gasol för samma ogräseffekt på tvåhjärtbladiga ogräs. Kostnaderna för ogräsbekämpning genom frysning blir mycket höga. Priset per m² för att nå 90 % ogräseffekt var (enbart för frysmedierna) 1.20 - 2.50 kr för flytande kväve och 3.80 - 5.10 kr för flytande koldioxid. Priset för gasolen vid flamning var 0.05 - 0.14 kr/m² vid samma bekämpningseffekt.

Den utrustning som användes för att sprida kylmedierna på ogräsen var en mycket enkel försöksutrustning. Även om utrustningen utvecklas blir det troligen svårt att få ner förbrukningen så mycket att frysmetoden kan konkurrera med flamning vid ogräsbekämpning. Frysmetoden kan dock vara av intresse där brandrisken gör flamning omöjlig att använda.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING	1
LITTERATURÖVERSIKT	2
Frysning av ogräs	2
Verkningssätt	2
Tidigare erfarenheter av frysning med flytande kväve mot ogräs	5
Flamning av ogräs	7
Verkningssätt	7
Tidigare erfarenheter av flamning av ogräs	8
Energikällor för termisk bekämpning	9
Flytande kväve	9
Kolsyresnö	10
Gasol	12
FÖRSÖKSDEL	13
Beskrivning av försöksutrustning	13
Frysning med flytande kväve	13
Frysning med kolsyresnö	15
Flamning	16
Orienterande försök	17
Syfte	17
Material och metoder	17
Resultat	18
Försök i ett enhetligt växtbestånd - effekt vid olika utvecklingsstadier	18
Syfte	18
Material och metoder	18
Resultat och diskussion	20
Effekt av flamning och frysning på en blandad flora av vanliga fröogräs	25
Syfte	25
Material och metoder	25
Resultat och diskussion	26
Effekt av flamning och frysning på gräs	29
Syfte	29
Material och metoder	29
Resultat och diskussion	30
Kostnader	31

En separat undersökning av miljökonsekvenserna vid frysning jämfört med flamning genomfördes inom projektet. Av denna framgick att om hänsyn enbart tas till nettotillskottet av koldioxid till atmosfären är frysning med flytande kväve en mer miljövänlig ogräsbekämpningsmetod än flamning, under förutsättning att transporterna från produktionsplats till användningsplats är kortare än 100 km.

SLUTDISKUSSION	33
Energiförbrukning	33
Ogräseffekt	33
Kostnader	34
Teknisk utrustning	35
Miljöaspekter	35
Framtidsutsikter	36
REFERENSER	37

INLEDNING

Den minskande användningen av kemiska medel för ogräsbekämpning medför att vi nu söker alternativa bekämpningsmetoder. Bland de icke-kemiska metoderna som idag används på hårdgjorda ytor med bra arbetsresultat finns termisk bekämpning med värme, harvsladdning och ogräsborstning (Svensson, 1991; Hein, 1990). Om man missköter ogräsbekämpningen kan rotogräsen snabbt förstöra de hårdgjorda ytorna, vilket leder till stor kapitalförstörelse.

De termiska och mekaniska ogräsbekämpningsmetoderna som används idag är förhållandevis effektiva och kostnadsbesparande jämfört med manuell ogräsbekämpning, men de har vissa begränsningar.

Termisk bekämpning genom flamning där gasol används som bränsle är en metod som fungerar relativt bra. En stor nackdel anses dock vara att gräs och rotogräs återhämtar sig snabbt efter behandling. Detta medför att behandlingen måste upprepas flera gånger under en säsong. En annan begränsning med flamning är att det finns risk för att det tar eld i brännbart material som finns i närheten av de ytor som behandlas. Ytterligare ett problem är att det sker ett nettotillskott av koldioxid till atmosfären vid gasolförbränning. Koldioxid bidrar till växthus-effekten.

Experiment utförda på Alnarp under sommaren 1988 tydde på att en frysbehandling gav en mer långsiktig effekt än flamning. Man antog att detta berodde på att de tunga frysgaserna låg kvar vid marken under en längre tid än värmen från värmebehandlingen. Detta skulle kunna leda till en bättre djupverkan vid frysning än vid flamning och därmed en bättre effekt på ogräsen (Svensson, 1990).

Teoretiskt sett bör frysning av ogräs vara en intressant metod eftersom det går åt mindre energi för att frysa ogräset än för att koka det (S-E Svensson, pers medd 1991).

Detta arbete syftar till att utreda frysningens ogräseffekt jämfört med flamning. De energimängder som krävs för en likartad bekämpningseffekt samt kostnaderna för de olika metoderna skall jämföras.

Vid frysning har flytande koldioxid och flytande kväve använts som frysmedia, vid flamning användes gasol som bränsle.

LITTERATURÖVERSIKT

Litteraturstudien tar upp de biologiska effekterna av frysning och flamning samt en del praktiska erfarenheter av de båda metoderna. Dessutom beskrivs egenskaper hos de energikällor som används vid frysning och flamning, d v s flytande kväve, koldioxid och gasol.

Frysning av ogräs

Verkningssätt

Olika växtarter är olika känsliga för låga temperaturer. Inom samma art är olika organ olika känsliga. Växternas känslighet varierar också mycket med årstid. Vissa vinterhärdade växter kan klara så låga temperaturer som -196°C (Sakai & Larcher, 1987). De flesta växter dör dock vid betydligt högre temperaturer trots att de härdats för vintern. Det finns många olika teorier om vad det är som dödar växten vid låga temperaturer.

Man skulle kunna tro att frostskaadade plantor dör på grund av att vatten expanderar vid isbildning och spränger cellen. Under början av 1900-talet visade man dock att en frostskaadad växt snarare drar ihop sig än expanderar. Detta beror på att iskristallerna i de flesta fall vid den naturliga frostprocessen bildas i luft- rummet mellan cellerna. Vattnet dras alltså ut ur cellerna. Detta kallas extracellulär frysning. När en växt fryser naturligt bildas nästan aldrig is i en levande cell. Vid mycket snabba temperaturfall kan dock is bildas innuti cellerna.

Extracellulär frysning

Extracellulär frysning innebär att is bildas mellan cellerna. Isbildningen börjar från vattenfilmer eller vattendroppar på cellens yta. Vatten inifrån cellen diffunderar ut och kondenserar på den växande iskristallen. Dessa iskristaller kan bli många gånger större än en enskild cell. Eftersom salthalten är högre i cellen än utanför är fryspunkten lägre inuti cellen. Ju mer vatten som diffunderar ut från cellen desto högre blir salthalten och desto lägre blir fryspunkten. Om cellen ej skadats går vattnet tillbaka in i cellen när iskristallerna smälter, varefter cellerna fungerar som vanligt igen. Ju kallare det är desto mer vatten dras ur cellerna till iskristallerna i mellanrummet mellan cellerna. Vid mycket låga temperaturer kan så mycket vatten dras ur cellerna att de dör. Olika arter är olika känsliga för låga temperaturer.

Om växtens celler skadats av frosten återgår inte vattnet till cellen när växten åter tinar, varvid cellen kollapsar och dör. Härdade växter har ett högre saltinnehåll än ej härdade växter och protoplasman är mer elastisk (Salisbury & Ross, 1985). Frosthärdade växter är därför inte lika känsliga för frost som ej frosthärdade växter. Om nedkylningshastigheten inte är för hög och den slutliga temperaturen inte är för låg kan dock även ej frosthärdade växter överleva extracellulär frysning.

Intracellulär frysning

Vid intracellulär frysning fryser lösningen inuti cellen (cellvätskan). Frostkristaller uppstår inte spontant inuti cellen om inte cellen underkyls till minst -10°C (Mazur, 1977). Intracellulär frysning förekommer oftast vid snabba nedfrysningsförlöpp, när temperatursänkningen är snabbare än $2,5^{\circ}\text{C}$ per minut. Denna snabba nedfrysning karaktäriseras av att hela cellen ögonblickligen antar en mörk färg. Under normala förhållanden dör cellen vid intracellulär frysning, troligen beroende på att cellmembranen förstörs mekaniskt av de snabbt växande iskristallerna i protoplasman (Maximov, 1914).

Växtceller kan överleva intracellulär frysning förutsatt att mycket små iskristaller, som är oskadliga för cellen, bildas intracellulärt och smälter igen innan de har nått skadlig storlek (Sakai & Yoshida 1967; Sakai & Otsuka 1970). Ofarliga iskristaller av denna typ bildas enbart om nedkylningshastigheten är extremt snabb, mer än 10000°C per minut (Moor & Mühlethaler, 1963; Sakai et al. 1968)

Varför dör växten?

En mångfald av teorier angående frostsador i växter har presenterats under åren. Den huvudsakliga anledningen till detta är att många aspekter är involverade i frostsador. Isbildning och den eventuella skadan ter sig olika beroende på art, härdningsgrad och sättet för frysning. Ingen ensam mekanism kan därför generellt sägas vara orsak till cellens död respektive överlevnad (Steponkus, 1981). Det tycks ändå vara klart att cellens plasmamembran spelar en avgörande roll för cellens överlevnad under frysnings- och upptinings cykeln, och att den huvudsakliga orsaken till celldöd är att cellmembranens funktion förstörs (Ziegler & Kandler, 1980).

Enligt Christersson (1989) är det främst följande faktorer som orsakar skador på växter vid frostsador:

- * Denaturering av protein i membran och enzym genom ökad elektrolytkoncentration.
- * pH-ändringar, skadar membran.
- * Abnorma sammanbindningar mellan proteiner.
- * Mekaniska påfrestningar vid frysning och upptining

När det gäller skogsträd finns det en del forskning på hur sommarfroster påverkar växterna. Enligt Christersson & Fricks (1984) är det inte den låga temperaturen i sig som orsakar skador på våra skogsväxter, utan den iskristallbildning som sker i växternas vävnader några grader under noll. Fryspunkten för en vävnad är mellan -1 och -3 °C. Fryspunktsnedsättningen är olika för olika arter. Vävnader kan även underkylas, detta innebär att temperaturer under en vävnads fryspunkt inte utlöser iskristallbildningen. Orsaken till detta kan vara av morfologisk, anatomisk eller fysiologisk karaktär. Kunskaperna är begränsade angående omfattningen av underkylning.

Meningarna går isär om vad som händer vid frostgrader under sommaren när växten är i full tillväxt. Det är detta som är intressant vid den snabba temperatursänkningen som växten utsätts för vid frysning av ogräs. En del forskare menar att iskristallbildningen går till på samma sätt på sommaren som på vintern. Andra anser att iskristaller kan bildas både intracellulärt och extracellulärt i växande delar av skott och blad.

Växtens chanser att återhämta sig

Beroende på omfattningen av en frostskada samt hur viktig den skadade vävnaden är för plantan kan plantan reparera skadan helt eller delvis. Å andra sidan blir växten alltid tillbakasatt av en frostskada och detta minskar växtens konkurrensförmåga. När en växt skadas av frost dör ofta den skadade vävnaden. Om inte livsnödvändiga delar av växten skadats kan växten återhämta sig. Det är främst tillväxtpunkterna som måste överleva för att växten skall kunna återhämta sig.

Förlust av blad är oftast inte speciellt allvarligt för växtens överlevnad. Om knopparna skadats blir dock konsekvensen oftast ödesdiger, eftersom tillväxtpunkt och nya bladanlag finns där. Oftast är knopparna mindre frostkänsliga än bladen. Vid en lindrigare frostskada där knopparna ej skadats kan man vänta sig att bladen kommer tillbaka (Sakai & Larcher, 1987).

Tidigare erfarenheter av frysning med flytande kväve mot ogräs

Ett fåtal försök har utförts, där man testat ogräsbekämpning genom frysning. I de referenser som hittats är det enbart behandling med flytande kväve som har testats.

Frysning av ogräs på banvallar

Under försommaren 1981 utförde Institutionen för växtodling vid Sveriges Lantbruksuniversitet försök att bekämpa ogräs med flytande kväve på en banvall. På banvallen växte ca 10 cm höga tvåhjärtbladiga växter och gräs samt gran- och tallplantor. Flytande kväve applicerades via en sprutbom på banvallen. Banvallen delades upp i tre block och varje block delades upp i tre parceller. Parcellerna behandlades 1, 2 resp 3 gånger vid samma tillfälle. Uppgifter om hur stor dos som användes vid varje körning finns inte redovisade.

En omedelbar verkan kunde ses på de tvåhjärtbladiga ogräsen, ju fler behandlingar desto kraftigare verkan. De sköt dock nya skott efter en tid. Gräset påverkades inte omedelbart, men det vissnade senare. Viss tendens fanns att gräset fortfarande var tillbakasatt efter fyra månader. Den vedartade vegetationen påverkades mycket lite av frysbehandlingen.

Vegetationen mellan skenorna påverkades mycket mer än vegetationen utanför skenorna. Detta berodde på att kvävet låg kvar längre tid mellan skenorna än utanför, där det "rann" av vallen.

Slutsatser som drogs av detta försök var att upprepade behandlingar krävs för att hålla tillbaka vegetationen under en längre tid. Metoden verkade inte ge någon effekt på växternas rotsystem. Vidare antog man att frysning av ogräs troligen ger varaktiga effekter om de ovanjordiska delarna hos fleråriga ogräs "fryses bort" flera gånger under en växtsäsong (Westberg, 1981).

Frysning av ogräs på hårdgjorda ytor och i planteringar

En arbetsgrupp i Amsterdam provade 1986 flera nya lösningar för ogräsbekämpning i planteringar och på hårdgjorda ytor för att finna alternativ till mekanisk bekämpning och flamning. Man provade bland annat frysning med flytande kväve. Stolk (1986) har beskrivit försöken.

I samarbete med AGA i Holland utvecklades en metod att frysa ogräs med flytande kväve. Man mätte bland annat hur djupt kylan tränger ner i marken. När spridarutrustningen fördes fram med en hastighet på 0,5 km/h (dosen framgår ej)

var ogräseffekten för dålig. Arbetshastigheten måste alltså vara ännu lägre. Vid 0,2 km/h blev effekten bättre, men detta ansågs vara för dyrt (1,35 NLG/m² ca 5,40 SEK).

Slutsatser av dessa undersökningar var således att frysning av ogräs med flytande kväve var finansiellt oacceptabel med den teknik som användes och de ekonomiska förhållanden som rådde 1986. Kylan tränger inte ner i marken tillräckligt bra, man finner därför samma nackdelar vid frysning som vid flamning, d v s ogräsen dödades inte helt och de växte snart vidare igen.

Frysning med höstsådda grödor som testogräs

Statens Jordbrugstekniske Forsøg i Danmark gjorde under hösten 1991 försök med ogräsbekämpning med flytande kväve. Höstvet, höstkorn och höstraps behandlades med flytande kväve den 18:e november. Vid behandlingen var höstvet och höstkorn 4-8 cm högt och hade 1-4 blad, höstrapsen var ca 1,5 cm hög och hade 2 blad. I tabell 1 framgår vilka doser av flytande kväve som användes samt vilken effekt behandlingen hade på grödan vid olika avläsningstillfällen.

Tabell 1. Gradering av effekt på tre höstsådda grödor efter frysning med olika doser av flytande kväve. 5 = ingen synlig effekt, 0 = alla plantor är döda. Behandlingen skedde den 18/11-91. (Statens Jordbrugstekniske Forsøk, 1992)

Gröda	Dos (kg/m ²)	Gradering av effekt			
		20/11-91	22/11-91	9/12-91	10/1-92
Höstkorn	0,20	5	5	5	5
	0,23	5	5	5	5
	0,57	4	3	3	3
	0,64	4	3	3	3
Höstraps	0,22	5	5	4	4
	0,31	4	4	3	2
	0,60	2	1	0	0
Höstvet	0,22	5	4	4	4
	0,32	3	2	3	4
	0,60	2	1	2	3

Vid en dos på ca 0,6 kg/m² (6000 kg/ha) kunde en tydlig effekt ses på stråsäden och höstrapsen var helt förstörd. Kostnaderna för flytande kväve var 1,25 kr/kg, priset per hektar blev därför högt.

Behandlingen skedde relativt sent på året och plantorna hade därför avhärdats något inför vintern. På våren tros plantorna därför dödas vid lägre dos. På Statens Jordbrugstekniske Forsøk anses metoden vara intressant, bl a för att bekämpa spillraps i höstsådda stråsädesgrödor. Ytterligare försök kommer därför att utföras.

Flamning av ogräs

Verkningsätt

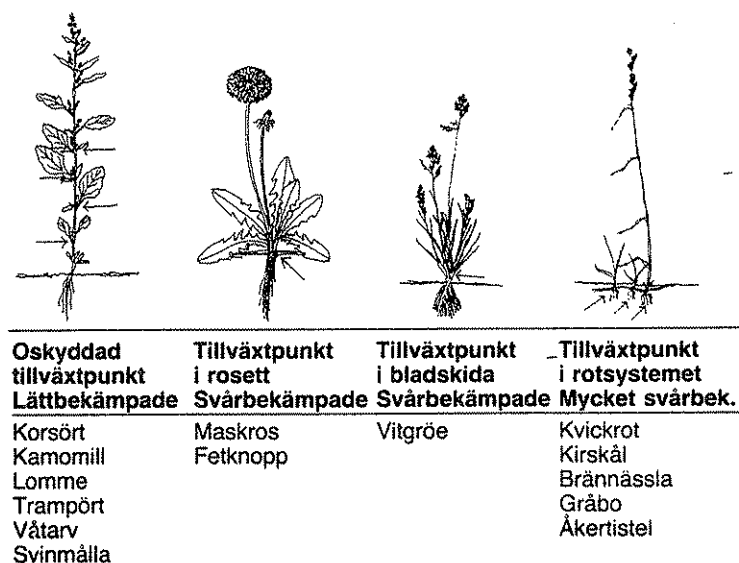
Flamningens dödande effekt på växter anses huvudsakligen bero på att cellmembraner i växten förstörs. Cellmembranen kan förstöras på två olika sätt. Om växten under en viss tid utsätts för temperaturer mellan 50 °C och 60 °C denatureras (förstörs) membranproteinerna så att genomsläppligheten hos cellmembranen ökar. Växten dör av uttorkning eftersom cellvätskan läcker ut ur cellerna. Vid det andra sättet, som sker vid flamning, sker en mycket snabb temperaturstegring i cellerna (upp till ca 100 °C). Detta ger en snabb tryckstegring i cellen och cellmembranerna sprängs. I båda fallen dör alltså bladvävnaden genom att cellmembranerna förstörs och cellvätskan läcker ut (Ellwanger et al, 1973).

Vid flamning är det inte meningen att man skall elda upp ogräset, utan växten skall upphettas till höga temperaturer under en kort tid. Detta kan liknas vid en förvällning av de ovanjordiska delarna av växten.

Direkt efter flamning blir bladen slappa och antar en mörkare grön färg. Detta beror på att cellerna har sprängts och cellvätska läcker ut. Efter några dagar har de skadade delarna av växten torkat in och dött av uttorkning.

Man kan direkt kontrollera om behandlingen är tillräcklig genom att pressa ett blad mellan fingrarna. Om det bildas ett mörkare grönt märke efter fingrarna är cellstrukturen i bladet förstörd och behandlingen är således tillräcklig i detta blad (Ascard, 1988).

Olika arter är olika känsliga för flamning. För att växten skall dö vid flamning är det viktigt att skada plantans tillväxtpunkter (figur 1). En del ogräsarter dör direkt efter endast en behandling. Det gäller främst arter som har en oskyddad tillväxtpunkt och ett litet rotsystem som t ex våtarv, baldersbrå och svinmålla. Det är svårt för värmen att tränga in i kraftiga växtdelar och ner i marken. Även om hela bladverket förstörs kan växter med en skyddad tillväxtpunkt överleva en behandling (Nilsson et al, 1988).



Figur 1. Exempel på ogräsarter och deras tillväxtpunkter, se pilarna. Värmekänsligheten beror på hur exponerad tillväxtpunkten är (Nilsson et al, 1988).

Ogräseffekten efter flamning beror också på yttre förhållanden vid bekämpningstidpunkten. Om ogräsen är våta åtgår mer energi för samma effekt än om ogräsen är torra. Gruskorn och jord som ligger på ogräsen kan skydda tillväxtpunkten och försämra effekten av flamning.

Tidigare erfarenheter av flamning av ogräs

Flamning har använts för ogräsbekämpning och blastdödning under lång tid. I slutet av 1950-talet slog flamningstekniken igenom i USA. Den användes främst inom bomullsodlingen (Kepner et al, 1978). I Sverige provades flamning på 1960-talet, bl a till blastdödning i potatis och flamning av ogräs i sockerbetor före uppkomst.

Intresset för flamning till ogräsbekämpning och blastdödning avtog under slutet av 60-talet, när nya billiga och effektiva herbicider utvecklades.

Efterhand som den ekologiska odlingen har brett ut sig har intresset för flamning ökat igen. Flamning används idag främst vid ekologisk odling i nordvästra Europa. Den dominerande användningen är att bekämpa ogräs före uppkomst i lök, morötter och andra rotfrukter (Ascard, 1988).

Försök med termisk ogräsbekämpning på hårdgjorda ytor inleddes 1985 på initiativ från Malmö parkavdelning. Under växtsäsongen 1987 deltog flera kommunala förvaltningar i ett omfattande försök där flera olika utrustningar för flamning provades.

De försök som har genomförts har gett en vägledning om hur många behandlingar som krävs per år för ett tillfredställande bekämpningsresultat. På kullersten, smågatsten och betongplattor m m krävs i regel 5-6 behandlingar per säsong. På grusytor krävs något fler behandlingar, 6-8 per säsong. De två första behandlingarna är särskilt viktiga, dessa måste sättas in med 1-2 veckors mellanrum direkt när ogräset börjar växa på våren. Det bästa resultatet fås om antalet bekämpningar behovsanpassas. Om det t ex är en lång torr period när ogräset inte växer kan behandlingen skjutas upp (Nilsson et al, 1988).

Som framgår ovan har utvecklingen av tekniken flamning för ogräsbekämpning pågått en tid. För stora ytor används traktorburna redskap. Handburna redskap används för flamning på små och trånga ytor. Handburna redskap består av en handburen brännare kopplad till en gasolflaska.

Vidare information om olika typer av flamningsaggregat samt kostnader för flamning på hårdgjorda ytor kan läsas i Nyström & Svensson (1988) och Nilsson et al (1988).

Energikällor för termisk bekämpning

I detta arbete jämförs tre olika energikällor för termisk ogräsbekämpning; flytande kväve, kolsyresnö och gasol. För att ge en uppfattning av egenskaperna hos de energikällorna beskrivs de här kortfattat.

Flytande kväve

Vanlig luft utgörs till största delen (78 %) av kvävgas (N_2). Kvävgas är en luktfri gas som inte är giftig. Den framställs genom destillation av flytande luft.

Vid temperaturer lägre än $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (kvävet kokpunkt vid normalt lufttryck) är kväve en lukt- och färglös vätska som är lättare än vatten. Flytande kväve förvaras vid ca 2 bars övertryck. När flytande kväve förgasas och därefter värms upp till omgivningstemperatur åtgår mycket energi, som tas från omgivningen. Detta gör flytande kväve till bra kylmedium (figur 2).

Kväve är inert (reagerar ej med andra ämnen) utom vid mycket höga temperaturer. Kväve används kommersiellt bl a som skyddsgas inom den kemiska industrin, samt som kylmedia inom livsmedelsindustrin (Alfax AB).

1 kg flytande kväve 2 bar, -187 °C

förångning		185 kJ
------------	--	--------

1 kg gas, -187 °C

	198 kJ
--	--------

1 kg gas, 0 °C

	Summa 383 kJ
--	---------------------

Figur 2. Energiförbrukning när ett kg flytande kväve värms till 0 °C. (Alfax AB)

Risker vid hantering

Kväve är inte giftigt men kan orsaka kvävning. Vid höga koncentrationer kväve i luften reagerar kroppen med kvävningssymptom i form av andnöd samt försämrad reaktionsförmåga och muskelkoordination. Allvarligare fall kan leda till medvetslöshet och död. Gasen bör därför hanteras i väl ventilerade utrymmen.

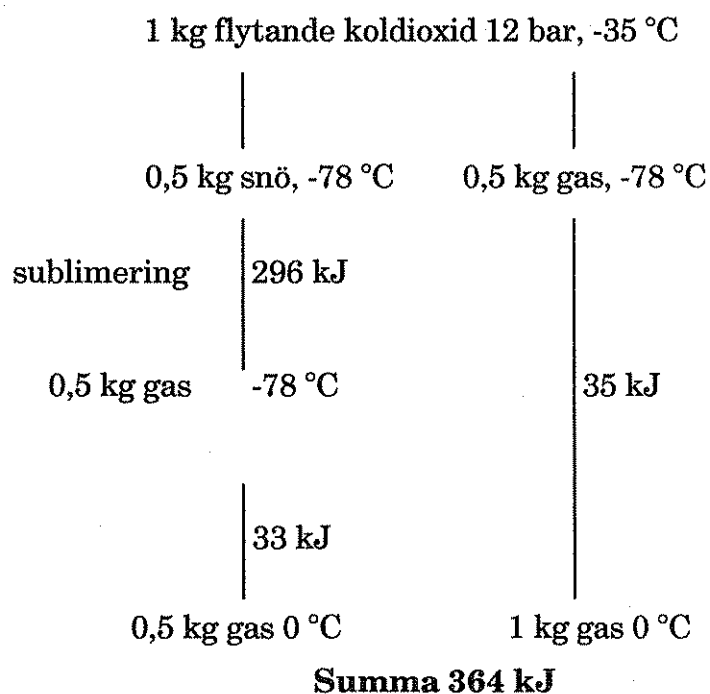
Kväve i vätskeform eller som kall gas kan ge svåra frysskador på ögon och hud. Vid hantering av flytande kväve måste all hudkontakt med den kalla vätskan undvikas. Den utrustning som används vid frysning av ogräs blir mycket kall, man får därför inte heller beröra denna utan skyddshandskar (Alfax, 91).

Kolsyresnö

Koldioxid (CO₂) är en färglös gas med stickande och syrlig doft. Gasen är tyngre än luft och löslig i vatten. Koldioxid erhålls från kemiska processer eller från industriella jäsprocesser. Koldioxid som säljs för industriell användning måste

renas, kylas och komprimeras. Den förvaras sedan i flytande form i isolerade tankar. Koldioxid måste förvaras under högre tryck än flytande kväve eftersom koldioxid måste komprimeras till ett tryck högre än 5,2 bar för att kunna hållas flytande. Flytande koldioxid förvaras ofta vid 12 bar. Vid detta tryck är koldioxid flytande om temperaturen är lägre än $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Vid atmosfärstryck expanderar den flytande koldioxiden och en blandning av snö och gas bildas. Snön går direkt från fast fas till gasfas (s k sublimering). Det är framför allt det stora energiupptaget i sublimeringen som utnyttjas vid frysning (figur 3). Frysning med kolsyresnö används bl a inom livsmedelsindustrin.



Figur 3. Energiförbrukning när ett kg flytande koldioxid värms till $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Alfax AB)

Risker vid hantering

Koldioxid är inte giftig, men verkar bedövande i höga halter. Koldioxid finns normalt i luften i en halt av 300 ppm. Halter på 3-5 % medför ökad andningstakten och huvudvärk. Vid halter mellan 8-15 % inställer sig huvudvärk, illamående och kräkningar, vilket kan leda till medvetslöshet. Halter över 15 % leder till koma och död. Koldioxid bör därför hanteras i väl ventilerade utrymmen. Om kolsyre eller flytande koldioxid kommer i kontakt med huden uppstår frostsador (Alfax, (1991)).

Gasol

Gasol är idag den helt dominerande energikällan vid flamning av ogräs. Gasol är en petroleumprodukt som främst består av propan och butan. Den gasol som används i Sverige och som är aktuell vid ogräsbekämpning består främst av propan, s k gasol-propan. Propan har en kokpunkt på ca -43 °C. Vid normalt lufttryck och temperatur är gasol en gas, men den omvandlas genom komprimering vid 5-10 bar till vätska. Det effektiva värmevärdet i propan är 46 000 kJ per kg. En stor energimängd kan därför förvaras i relativt lätta tryckkärl.

Risker vid hantering

Gasol är ett rent bränsle. Vid fullständig förbränning bildas nästan enbart koldioxid och vatten. Vid ofullständig förbränning (brist på syre) bildas kolmonoxid (CO), som är en mycket giftig gas. Avgaserna vid flamning med en förblandad gasollåga med luftöverskott innehåller under normala förhållanden mycket lite kolmonoxid. En del andra giftiga produkter kan dock förekomma, det bildas bl a kvävedioxid (NO₂). Det är dock mycket liten risk för oacceptabla NO₂-halter i ansiktshöjd från ett flammingsaggregat (Boghard et al, 1988).

Olyckstillbud beror ofta på läckage. Gasol som läcker ut i luften förtunnas oftast utan brand eller explosion om ingen antändande gnista finns. Man bör vistas utomhus eller i öppna rum vid arbete med gasol. Flammor eller het luft får inte komma i närheten av flaskor eller gasledningar. Gasflaskorna får inte värmas upp till mer än 45 °C.

Brand kan orsakas vid flamning. Man bör vara speciellt försiktig när torrt gräs finns i närheten, samt på allmänna platser där staket, buskar m m är i farozonen. Flamredskap bör därför inte användas när brandfara föreligger.

FÖRSÖKSDEL

Under sommaren 1991 utfördes förberedande försök inomhus samt tre olika fältförsök utomhus. Försöken utfördes som dos-respons försök, med syfte att studera hur olika typer av växter påverkas vid frysning och flamning av stegrande doser av flytande kväve, koldioxid och gasol.

Syftet med försöken var att:

- Bestämma vilka energimängder som behövs för att ge likartad bekämpningseffekt med de tre bekämpningsmetoderna.
- Bestämma kostnaden för den mängd frysmedia resp gasol som krävs för likartad bekämpningseffekt.

Beskrivning av försöksutrustning

Den utrustning som användes för att sprida frysmedierna på ogräsen är en mycket enkel försöksutrustning som byggdes för att undersöka frysmetodens möjligheter. Den flammingsutrustning som användes är effektiv och finns att köpa på marknaden.

Frysning med flytande kväve

Flytande kväve förvarades i kärl som liknar stora termosar, s k Ranger-kärl, som rymmer 180 liter. Den kalla vätskan förvarades vid ca 1,6 bar övertryck.

Flytande kväve applicerades genom att kvävet leddes genom en isolerad slang till en fördelningsramp försedd med munstycken av spalttyp. Rampen byggdes in i en isoleringskåpa som isolerades med en 10 cm tjock gullfibermatta (figur 4). Isoleringen runt slangen och rampen krävdes för att kvävet skulle förbli i flytande form tills det sprutades ut ur munstyckena. Den isolerade kåpan skulle hålla kvar den kalla gasen runt växten en extra stund. Den ramp som användes i försöken var 30 cm bred.



Fig. 4. Utrustning som användes för spridning av flytande kväve och kolsyresnö.

Förbrukning av flytande kväve

För att undersöka hur stort uttaget av flytande kväve var vägdes Ranger-kärlet medan flytande kväve strömmade ut ur rampen. Trycket i kärlet noterades varje minut (figur 5). Trycket var 1,8 bar vid start. Det sjönk sedan relativt snabbt och efter fyra minuter var trycket 1,0 bar. Trycket stabiliserade sig och låg på mellan 0,8 och 0,9 bar under resten av mätperioden (tills det var slut i tanken efter 40 minuter).

Uttaget av flytande kväve var mycket ojämnt (figur 5). Under första och andra minuten var uttaget relativt litet. Detta berodde på att kväve kom ut som gas och inte som vätska tills utrustningen hade kylts ner. Uttaget ökade därefter till nästan 8 kg per minut för att sedan sjunka igen. När ca 50 kg hade tagits ut var uttaget 3-4 kg/min.

Medeltalet av de första 22 minuterna (utom minut 1) var 5,2 kg per minut. Uttaget minskade därefter ytterligare, därför kalkyleras i följande beräkningar med en förbrukning på 5 kg/min. Detta är dock en mycket osäker siffra, eftersom uttaget av flytande kväve sker pulserande och minskar ju mindre som finns kvar i kärlet.

Med aktuell utrustning förbrukades 1000 kg kväve per timma och meter arbetsbredd.

Uttag flytande kväve (kg)

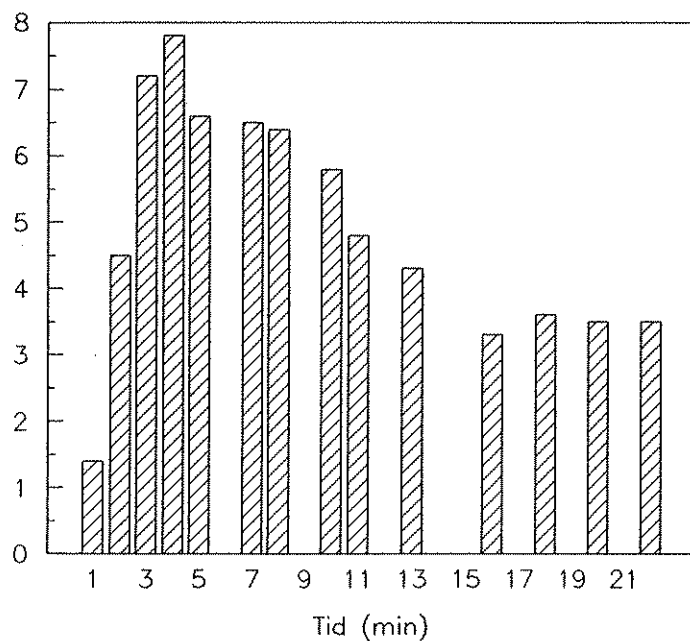


Fig. 5. Uttag av flytande kväve minut för minut med aktuell utrustning. De minuter som uttaget är 0 var utflödet stängt.

Frysning med kolsyresnö

Flytande koldioxid förvarades i samma typ av kärl som flytande kväve. Den kalla vätskan förvarades vid ca 12 bar övertryck.

För applicering av kolsyresnö användes samma isoleringskåpa som för flytande kväve (figur 4). Den flytande koldioxiden leddes under tryck genom isolerade slangar. Snön bildades i två snöhorn av liknande typ som på en brandsläckare, och sprutades därför ut i två strängar. Dessa strängar var tillsammans 25 cm breda.

Förbrukning av flytande koldioxid

För att undersöka hur stort uttaget av flytande koldioxid var vägdes Rangerkärlet medan kolsyresnö och koldioxidgas strömmade ut ur snöhornen. Trycket noterades varje minut. När mätningen startade var trycket 14,8 bar, men det

sjönk till 13 bar den första minuten. Därefter sjönk trycket långsamt och efter 5 minuter var det 12,1 bar (figur 6). Uttaget av kolsyresnö var mycket jämnt (figur 6), ca 8,5 kg kolsyresnö strömmade ur per minut.

Med aktuell utrustning förbrukades 2040 kg koldioxid per timma och meter arbetsbredd.

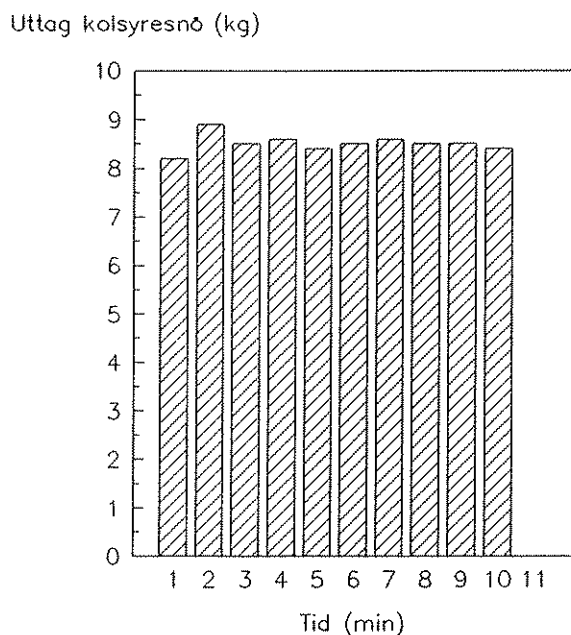


Fig. 6. Uttag av kolsyresnö (kg/min) minut för minut med aktuell utrustning.

Flamning

Flamning utfördes med ett aggregat för radodling av fabrikatet Catter som baseras på en rampbrännare av gasfastyp. Brännaren ger en kort, flat och intensiv låga som riktas bakåt. Lågorna är täckta av en värmeisolerad metallkåpa med sträckmetallnät (figur 7). Ascard (1988) beskriver Catter flammaren närmare.



Fig. 7. Flamningsaggregat för radodling med namnet Catter. Brännaren ger en kort, flat och intensiv låga.

Förbrukning av gasol

Den flamningsutrustning som användes, d v s Catter med endast bakre brännaren inkopplad, förbrukade 6,82 kg gasol per timma och meter arbetsbredd (Ascard, 1992. pers med.)

Orienterande försök

Syfte

Syftet med de förberedande försöken var att undersöka hur frystekniken fungerar och utveckla försöksutrustningen. Vi ville också få fram den ungefärliga dos som krävs för att döda växter med flytande kväve resp kolsyresnö.

Material och metoder

Vitgröe och vitsenap användes som testplantor. Testplantorna såddes i lådor i växthus i två omgångar. Varje sådd behandlades vid två olika utvecklingsstadium

med flytande kväve och kolsyresnö. Vid de första försöken isolerades inte rampen. Utrustningen till kommande försök utvecklades med ledning av erfarenheter från de orienterande försöken.

Resultat

- Effekten var större på plantor i hjärtbladstadiet än på äldre plantor.
- Vid behandling med kolsyresnö lade sig den största delen av snön på jorden. Plantorna skadades huvudsakligen vid rothalsen.
- Uttaget av flytande kväve var mycket ojämnt. En stor del av kvävet kom ut som gas när rampen och slangarna ej var isolerade.
- När rampen och slangarna isolerades blev uttaget av flytande kväve jämnare, men det pulserade dock fortfarande något.
- Höga doser (d v s låga hastigheter ca 1 - 2 km/h), krävdes för att döda mer än hälften av plantorna.

Försök i ett enhetligt växtbestånd - effekt vid olika utvecklingsstadier

Syfte

Syftet med detta försök var att studera hur ett enhetligt växtbestånd vid olika utvecklingsstadier påverkas vid frysning och flamning av stegrande doser av flytande kväve, koldioxid och gasol.

Material och metoder

Ett sått bestånd av vitsenap användes som testplantor. Försöket var ett split-plot-försök med tre block. Vitsenapsplantans utvecklingsstadium var storruta i blocken och behandling med olika doser av flytande kväve, flytande koldioxid och gasol var småruta. Varje parcell var 1,6 x 4 m. Vitsenap såddes 31/5, utsädesmängden var 30 kg/ha. Vitsenapsplantorna behandlades vid två olika stadier; hjärtbladstadiet respektive tvåbladstadiet (figur 8). Fem olika doser av flytande kväve, flytande koldioxid respektive gasol användes (tabell 2).

Första behandlingen utfördes 12/6, när plantorna var i sent hjärtbladstadium. Vädret var ostadigt vid behandling. Vid flamning var det torrt, vid frysning med

flytande kväve regnade det lite och vid frysning med kolsyresnö regnade det mycket. Efter 13 dagar räknades och vägdes plantorna på en yta av $2 \times 0,25 \text{ m}^2$ per parcell.

Andra behandlingen utfördes 20/6. Plantorna var i sent tvåbladstadium. Det var uppehållsväder vid behandlingen. Efter 11 dagar räknades och vägdes plantorna på en yta av $2 \times 0,25 \text{ m}^2$.

Tabell 2. De olika doser av flytande kväve, flytande koldioxid och gasol som användes vid behandling av vitsenap vid hjärtbladstadiet (behandling 1) och sent tvåbladstadium (behandling 2).

Doser vid behandling 1 (kg/m^2)		
Gasol	N ₂	CO ₂
0.0053	1.2	2.4
0.0036	0.78	1.6
0.0024	0.53	1.1
0.0016	0.35	0.72
0.0011	0.24	0.49
Doser vid behandling 2 (kg/m^2)		
Gasol	N ₂	CO ₂
0.012	1.54	3.1
0.0053	1.2	2.4
0.0036	0.78	1.6
0.0024	0.53	1.1
0.0016	0.35	0.72

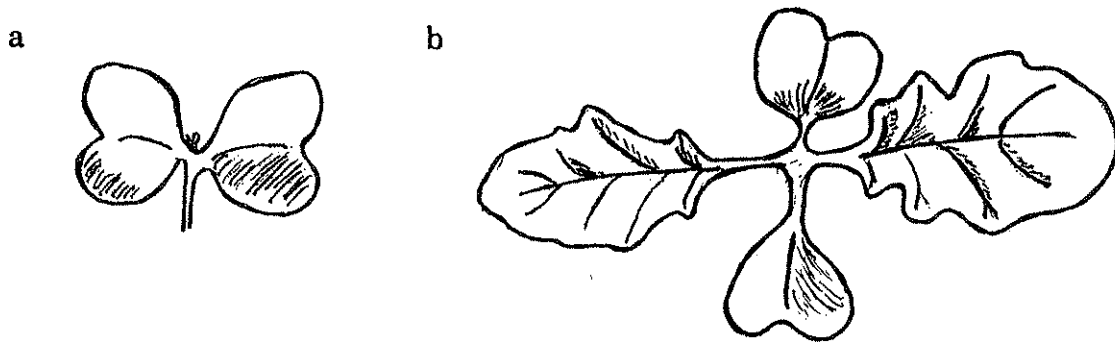


Fig. 8. a) Vitsenapsplantan i hjärtbladstadium. b) Vitsenapsplanta i tvåbladstadium.

Resultat och diskussion

Två dagar efter behandling hade de plantor som påverkades av behandlingen med flytande kväve respektive flamning med gasollåga vissnat. De plantor som behandlats med kolsyresnö hade skadats vid rothalsen. Plantorna låg ner men var fortfarande gröna. Där kolsyresnön hade legat kvar på bladen hade bladen vissnat.

För att kunna jämföra de olika behandlingsmetoderna räknades mängderna kolsyresnö, flytande kväve och gasol som gått åt per ytenhet, om till energiförbrukning per ytenhet.

Vid beräkning av energiåtgången per ytenhet togs endast hänsyn till energiinnehåll i frysmedierna (d v s upptag av energi när kolsyresnö resp. flytande kväve värms upp till 0 °C) och effektiva värmevärdet i gasolen. Hänsyn togs alltså inte till energiförbrukningen vid tillverkningen, transporter och spridning på fält. Flytande kväve innehåller 383 kJ/kg, flytande koldioxid 364 kJ/kg och gasol 46000 kJ/kg.

För att nå samma bekämpningseffekt krävdes en högre energiinsats vid båda frys-
metoderna än vid flamning. Detta gällde vid bekämpning både i hjärtbladstadiet
och i sent tvåbladstadium (figur 9-10). Vid en jämförelse mellan de båda
frysmetoderna var bekämpning med flytande kväve mindre energikrävande än
bekämpning med kolsyresnö.

De båda frysmetoderna krävde en högre energiinsats för att nå samma
bekämpningseffekt vid behandling i tvåbladstadiet som vid behandling i hjärt-
bladstadiet (figur 9-10 samt tabell 3-6).

Vid båda frysmetoderna krävdes det mer energi för att påverka antalet plantor än
för att påverka plantornas vikt. Plantornas utveckling hämmades alltså, men de
dog inte av behandlingen. En orsak till detta kan vara att tillväxtpunkten hos vit-
senap sitter relativt högt. Både flytande kväve och kolsyresnö lägger sig vid mar-
ken efter behandling. Speciellt behandling med kolsyresnö i sent tvåbladstadium
gav mycket dålig effekt på antalet plantor (figur 10). Detta kan bero på att
plantornas bladverk skyddade rothalsen (som ett paraply). Bladen och till viss del
även rothalsen skadades vid de högre doserna, men plantorna dog inte.

Vid behandling i hjärtbladstadiet gav båda frysmetoderna mycket dålig
bekämpningseffekt vid låga energiinsatser (figur 9). Detta kan bero på att det reg-
nade vid bekämpningstillfället.

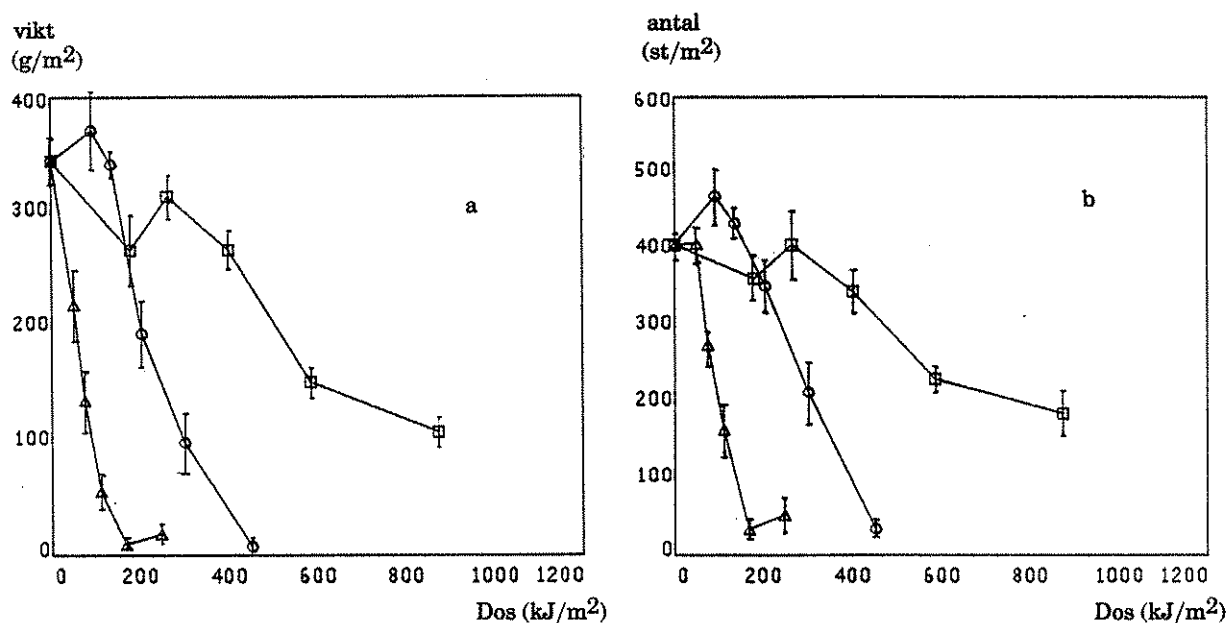


Fig. 9. (a) Vikt och (b) antal av vitsenapsplantor (*Sinapsis alba*) 13 dagar efter frysning och flamning med olika doser av flytande kväve, kolsyresnö och gasollåga. Vid behandling var plantorna i hjärtbladstadiet. Spridningsstrecken anger ± 1 standard error. □ = Kolsyresnö, ○ = Flytande kväve, △ = Gasollåga

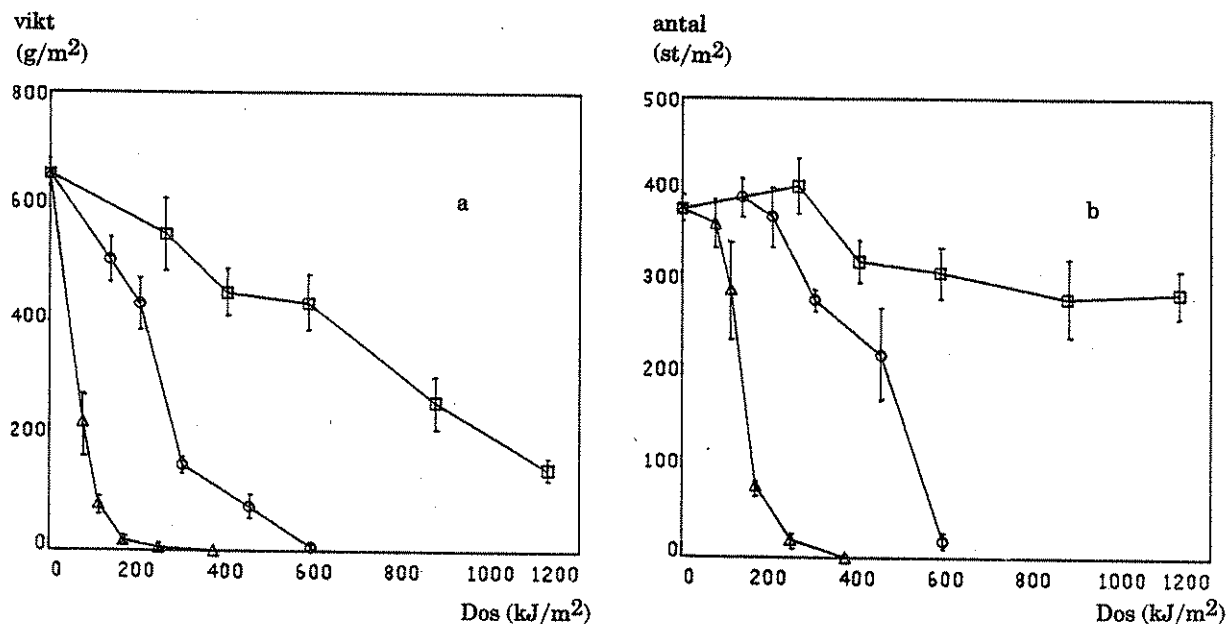


Fig. 10. (a)Vikt och (b)antal vitsenapsplantor (*Sinapis alba*) 11 dagar efter frysning och flamning med olika energidoser av flytande kväve, kolsyresnö och gasollåga. Vid behandling var plantorna i sent tvåbladstadium. Spridningsstrecken anger ± 1 standard error. \square = Kolsyresnö, \circ = Flytande kväve, Δ = Gasollåga

Tabell 3. Förbrukad mängd frysmedia resp gasol samt den energiförbrukning detta motsvarar vid 50 % och 90 % viktreduktion. Behandling i hjärtbladstadiet

Behandlingsmetod	Förbrukning vid 50 % reduktion av ogräsvikten		Förbrukning vid 90 % reduktion av ogräsvikten	
	(kg/m²)	(kJ/m²)	(kg/m²)	(kJ/m²)
Flamning	0.0013	60	0.0030	140
Frysning (kväve)	0.6	230	1.07	410
Frysning (koldioxid)	1.54	560	-	-

Tabell 4. Förbrukad mängd frysmidia resp gasol samt den energiförbrukning detta motsvarar vid 50 % och 90 % reduktion av antalet. Behandling i hjärtbladsstadiet

Behandlingsmetod	Förbrukning vid 50 % reduktion av antalet ogräs		Förbrukning vid 90 % reduktion av antalet ogräs	
	(kg/ha)	(kJ/m ²)	(kg/m ²)	(kJ/m ²)
Flamning	0.0021	100	0.0039	180
Frysning (kväve)	0.81	310	1.17	450
Frysning (koldioxid)	2.06	750	-	-

Tabell 5. Förbrukad mängd frysmidia resp gasol samt den energiförbrukning detta motsvarar vid 50 % och 90 % reduktion av antalet. Behandling i tvåbladstadiet

Behandlingsmetod	Förbrukning vid 50 % reduktion av ogräsvikten		Förbrukning vid 90 % reduktion av ogräsvikten	
	(kg/m ²)	(kJ/m ²)	(kg/m ²)	(kJ/m ²)
Flamning	0.0013	60	0.0028	130
Frysning (kväve)	0.63	240	1.25	480
Frysning (koldioxid)	2.12	770	-	-

Tabell 6. Förbrukad mängd frysmidia resp gasol samt den energiförbrukning detta motsvarar vid 50 % och 90 % reduktion av antalet vitsenapsplantor. Behandling i tvåbladstadiet

Behandlingsmetod	Förbrukning vid 50 % reduktion av antalet ogräs		Förbrukning vid 90 % reduktion av antalet ogräs	
	(kg/m ²)	(kJ/m ²)	(kg/m ²)	(kJ/m ²)
Flamning	0.0030	140	0.0050	230
Frysning (kväve)	1.23	470	1.51	580
Frysning (koldioxid)	-	-	-	-

Vid båda behandlingstillfällena gick det åt 2,5 gånger mer energi vid behandling med flytande kväve jämfört med flamning för att få en reduktion av antalet vitsenapsplantor med 90 %. Vid behandling med kolsyresnö krävdes en mycket hög energiinsats för att minska antalet ogräs. När plantorna behandlades med kolsyresnö i hjärtbladstadiet krävdes mer än 7 gånger så mycket energi som vid flamning för att nå en reduktion av antalet ogräs med 50 %. Vid behandling i tvåbladstadiet blev reduktionen av antalet ogräs mindre än 50 % vid den högsta dosen flytande koldioxid.

Mycket stora kvantiteter av de båda frysmedierna åtgår för att nå 90 % ogräseffekt.

Effekt av flamning och frysning på en blandad flora av vanliga fröogräs

Syfte

Syftet med detta försök var att studera hur en blandad flora av vanliga fröogräs påverkas vid frysning och flamning av stegrande doser av flytande kväve, koldioxid och gasol.

Material och metoder

Försöket utfördes på ett fält med naturligt mycket rik ogräsflora. Den dominerande ogräsarten på fältet var pilört men även jordrök, trampört, korsört, lomme, gatkamomill, rödplister, svinmålla, åkertistel, åkerveronika, vitgröe, våtarv, penningört, maskros, åkerviol, skräppa och åkerbinda förekom. Försöket var ett randomiserat blockförsök med tre block. Varje parcell var 1,6 x 4 m. Parcellerna behandlades med olika dos av flytande kväve, koldioxid och gasol (Tabell 7).

Behandling utfördes den 8/7. Vädret var varmt och soligt hela dagen. De flesta ogräs var i tvåbladstadium vid behandling, tistlarna var dock i 4 bladstadiet.

Tabell 7. De olika doser av flytande kväve, flytande koldioxid och gasol som användes vid behandling av en blandad ogräsflora

Gasol (kg/m ²)	N ₂ (kg/m ²)	CO ₂ (kg/m ²)
0.0068	1.54	3.1
0.0036	1.0	2.0
	0.53	1.1

Två veckor efter behandling avlästes resultatet. Ogräs på en yta av 2x0,25 m² per parcell artbestämdes, räknades och vägdes.

Resultat och diskussion

Den synliga effekten av flamning och frysning med flytande kväve liknade varandra mycket. Vid avläsningen två veckor efter behandling, sågs dock några skillnader på effekten efter flamning och frysning. Vid frysning skadades höga växter främst i de nedre delarna, medan hela växten skadades vid flamning. Vid behandling med kolsyresnö skadades plantorna främst vid rothalsen där de nästan gick av.

För att kunna jämföra de olika behandlingsmetoderna räknades mängderna flytande kväve, koldioxid och gasol som gått åt per ytenhet, om till energiförbrukning per ytenhet (hänsyn har enbart tagits till energiinnehåll i kylmedierna respektive gasolen).

För att nå samma bekämpningseffekt krävdes en högre energiinsats vid båda frysningssmetoderna än vid flamning (figur 11). Vid en jämförelse mellan de båda frysningssmetoderna var bekämpning med flytande kväve mindre energikrävande än bekämpning med kolsyresnö.

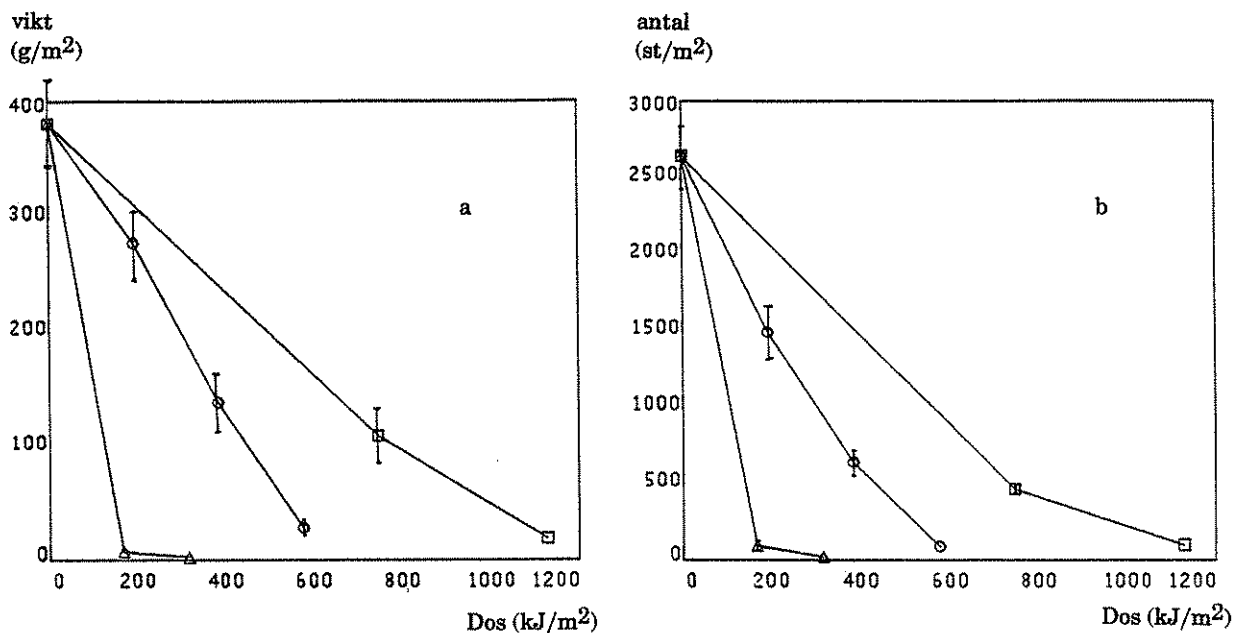


Fig. 11. Total (a)vikt och (b)antal ogräs två veckor efter frysning och flamning med olika doser av flytande kväve, koldioxid och gasol. Spridningsstrecken anger ± 1 standard error.

□ = Kolsyresnö, ○ = Flytande kväve, △ = Gasollåga

Tabell 8 Förbrukad mängd frysmedia resp. gasol samt den energiförbrukning detta motsvarar vid 90 % reduktion av vikt och antal ogräs

Behandlingsmetod	Förbrukning vid 90 % reduktion av ogräsvikten		Förbrukning vid 90 % reduktion av antalet ogräs	
	(kg/m²)	(kJ/m²)	(kg/m²)	(kJ/m²)
Flamning	0.0035	160	0.0035	160
Frysning (kväve)	1.46	560	1.33	510
Frysning (koldioxid)	2.86	1040	2.58	940

Jämfört med flamning gick det åt ca 3 gånger så mycket energi vid frysning med flytande kväve och ca 6 gånger så mycket energi vid frysning med kolsyresnö, för att reducera antalet ogräs med 90% (tabell 8). Det åtgick alltså mycket stora kvantiteter av flytande kväve och kolsyresnö för att nå 90 % ogräseffekt.

Pilört (som var den dominerande ogräsarten) påverkades mindre av frysning än övriga ogräs. Det var särskilt tydlig skillnad mellan bekämpningseffekt på pilört och övriga ogräsarter vid behandling med flytande kväve (figur 12). Vid flamning sågs däremot ingen skillnad mellan effekten på pilört och effekten på övriga ogräs.

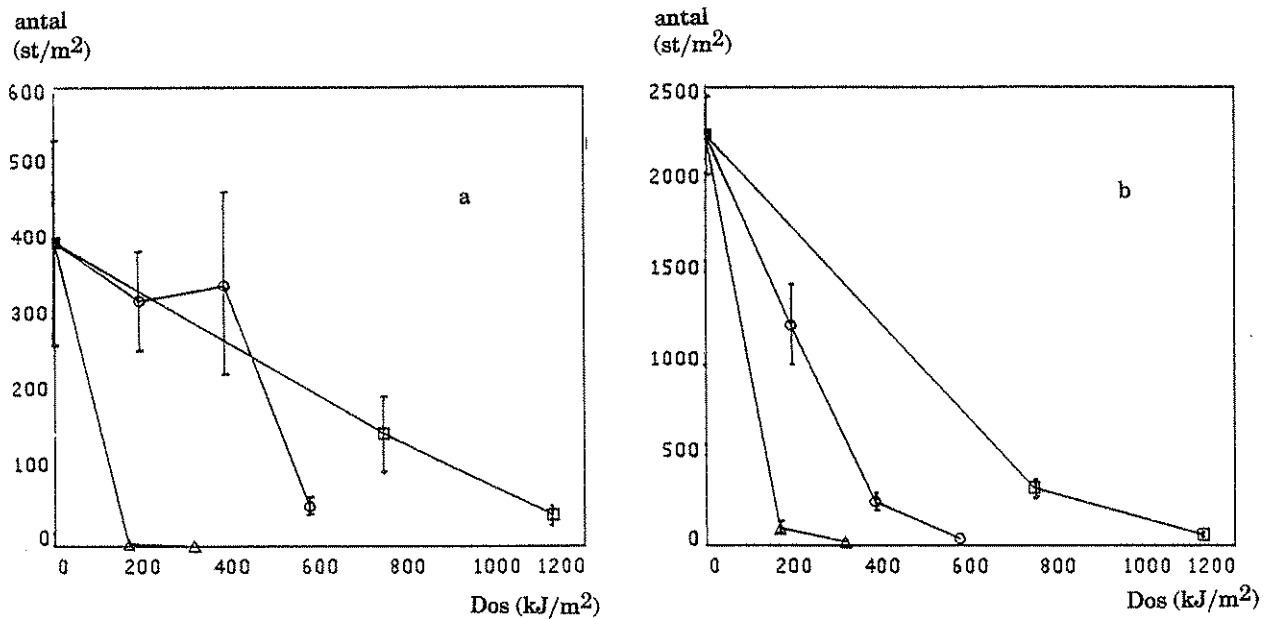


Fig. 12. Reduktion av (a) antal pilört och reduktion av (b) antal övriga ogräsarter två veckor efter frysning och flamning med olika doser av flytande kväve, koldioxid och gasol. Spridningsstrecken anger ± 1 standard error. \square = Kolsyresnö, \circ = Flytande kväve, Δ = Gasollåga

Ogräseffekten på pilört av behandling med flytande kväve nådde ej 90%. Därför jämförs effekten på pilört med effekten på övriga ogräsarter vid 80% ogräseffekt (tabell 9).

Tabell 9. Förbrukad mängd frysmidia resp. gasol samt den energiförbrukning detta motsvarar vid 80 % reduktion av antalet pilört och övriga ogräsarter tillsammans

Behandlingsmetod	Förbrukning vid 80 % reduktion av antal pilört		Förbrukning vid 80 % reduktion av antal övriga ogräs	
	(kg/m ²)	(kJ/m ²)	(kg/m ²)	(kJ/m ²)
Flamning	0.0030	140	0.0030	140
Frysning (kväve)	1.5	560	0.91	350
Frysning (koldioxid)	2.7	1000	1.9	700

Vid behandling med flytande kväve gick det åt 1,6 gånger så mycket energi för att minska antalet pilörtplanter med 80% jämfört med övriga ogräsarter (tabell 9). Pilört var alltså mindre känslig för frysning än genomsnittet av de övriga ogräsarterna som fanns på fältet.

Kurvorna för total ogräsvikt och totalt ogräsantal följde varandra mycket väl (figur 11). Vid frysning blev det till och med något bättre effekt på antalet ogräs än på vikten ogräs. Orsaken till detta kan vara att de ogräs som överlevde behandlingen t ex pilört fick en starkare tillväxt när konkurrensen med övriga ogräs minskat.

Effekt av flamning och frysning på gräs

Syfte

Syftet med detta försök var att studera den långsiktiga effekten på gräs vid behandling med frysning och flamning av stegrande doser av flytande kväve, koldioxid och gasol.

Material och metoder

Försöket utfördes på en gles gräsyta där 60% rödsvingel, 25% ängsgröe och 15% turfgräs såddes 1990. Försöket var ett randomiserat blockförsök med tre block. Parcellerna behandlades med olika dos av flytande kväve, kolsyresnö och gasol-låga (Tabell 10). Behandling skedde två gånger.

Första behandlingen utfördes den 8/7. Vädret var varmt och soligt hela dagen. Den andra behandlingen utfördes den 30/7. Det var uppehållsväder hela dagen.

Tabell 10. De olika doser av flytande kväve, flytande koldioxid och gasol som användes vid behandling av gräs.

Gasol (kg/m ²)	N ₂ (kg/m ²)	CO ₂ (kg/m ²)
0.0068	1.54	3.1
0.0036	1.0	2.0
	0.53	1.1

Avläsning av försöket skedde okulärt den 12:e november 1991. Resultatet av behandlingarna bedömdes på en skala från 1-5.

Resultat och diskussion

Dagen efter behandling hade de skadade växtdelarna vissnat. Där flytande kväve använts kunde man på vissa försöksrutor tydligt se att effekten varit ojämn, tillförseln av flytande kväve hade varit pulserande.

Vid den okulära avläsningen var ogräseffekten god efter behandling med de högsta doserna av flytande kväve och gasol. Ogräseffekten vid behandling med flytande kväve och flamning var jämförbara vid en energiförbrukning på 300 - 400 kJ/m². Vid en lägre energiinsats var däremot frysning med flytande kväve sämre än flamning (figur 13). Vid behandling med kolsyresnö åtgick betydligt mer energi än vid de båda andra metoderna.

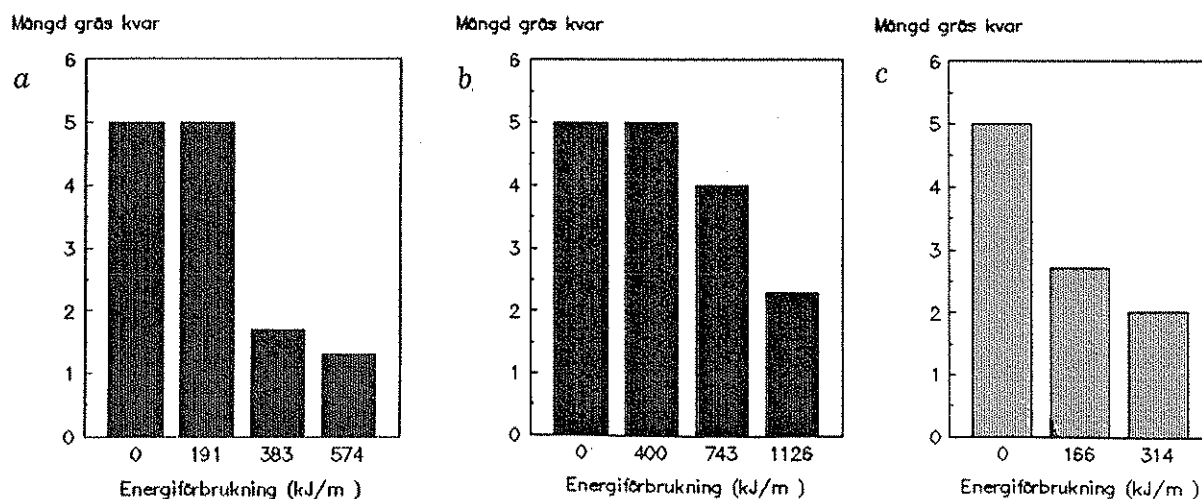


Fig. 13. Okulär bedömning tre månader efter den sista av två behandlingar av gräs med flytande (a) kväve, (b) kolsyresnö, och (c) gasollåga. Skala 0-5, 0=ogräsfritt, 5=opåverkat.

Kostnader

Bekämpningskostnaden per ytenhet för att nå 90 % reduktion av antalet ogräs (tabell 12) har bestämts utifrån förbrukning av flytande kväve, koldioxid och gasol (tabell 11). Beräkningarna grundar sig på resultat av de dos-respons försök som beskrivits ovan.

Tabell 11. Förbrukning av flytande kväve, koldioxid och gasol vid 90 % reduktion av antalet ogräs vid behandling av en blandad flora fröogräs samt behandling av vitsenap. Vid behandling av gräs, god effekt enligt okulär avläsning

Behandlingsmetod	Förbrukning kg/m ² vid 90 % reduktion av antalet ogräs		Förbrukning (kg/m ²) vid god effekt
	Vitsenap	Blandad ogräsflora	gräs
Flamning	0.0050	0.0035	0.0068
Frysning (kväve)	1.51	1.33	1.00
Frysning (koldioxid)	-	2.58	-

Gasol kostar 15 - 20 kr/kg, flytande kväve 1,25 - 1,70 kr/kg och flytande koldioxid 1,50 - 2,00 kr/kg. Priserna är beroende på hur stora kvantiteter som köps in. Förutom priset på kylmedierna tillkommer bl a transportkostnader, som är högre vid frysning än vid flamning p g a att så stora kvantiteter krävs.

Tabell 12. Kostnad (kr/m²) för flytande kväve, koldioxid och gasol vid 90 % reduktion av antalet ogräs vid behandling av en blandad flora fröogräs samt behandling av vitsenap. Vid behandling av gräs, god effekt enligt okulär avläsning

Behandlingsmetod	Kostnad kr/m ² vid 90 % reduktion av antalet ogräs		Kostnad (kr/m ²) vid god effekt.
	Vitsenap	Blandad ogräsflora	gräs
Flamning	0.075 - 0.10	0.052 - 0.070	0.10 - 0.14
Frysning (kväve)	1.89 - 2.57	1.66 - 2.26	1.25 - 1.70
Frysning (koldioxid)	-	3.87 - 5.16	-

Kostnaderna för ogräsbekämpning genom frysning blir mycket höga. Priset per hektar var 1.20 - 2.50 kr för flytande kväve och 3.80 - 5.10 kr för flytande koldioxid för 90 % ogräseffekt. Priset för gasolen vid flamning är 0.05 - 0.14 kr vid samma bekämpningseffekt.

SLUTDISKUSSION

Energiförbrukning

En hypotes som ställdes vid projektets start var att energiförbrukningen skulle vara lägre vid ogräsbekämpning med frysning än med flamning eftersom det teoretiskt sett går åt mindre energi vid frysning än vid kokning. De försök som utförts visade motsatsen. Det gick åt mer energi för att nå samma ogräseffekt vid frysning med flytande koldioxid och flytande kväve än vid flamning. Detta kan bero på att vattnet i växten inte behöver omvandlas till vattenånga för att växten skall dö vid flamning. Vattnet behöver därmed inte genomgå den energikrävande fasändringen från vatten till ånga. Vid frysning däremot krävs det troligen att vattnet övergår till is för att växten skall dö. Här måste alltså vattnet genomgå den energikrävande fasändringen från vatten till is. Den hypotes som ställdes bygger på att allt vatten i växten skall övergå till ånga vid flamning och till is vid frysning.

Ogräseffekt

Vid frysning av ogräs utsätts växten för låg temperatur under en kort tid. De flesta undersökningar som hittills gjorts och som nämns i litteraturen grundar sig i första hand på undersökningar där växten utsatts för temperaturer strax under 0 °C under dagar, timmar eller minuter. Det är därför svårt att utifrån dessa undersökningar dra några slutsatser om vad som egentligen händer i växten när den utsätts för de extremt låga temperaturer under en så kort tid som är aktuellt vid frysning av ogräs med flytande kväve och kolsyresnö. Det är troligen fråga om intracellulär frysning (lösningen inuti cellen fryser) eftersom det är denna typ av frysning som är vanlig vid snabba nedfrysningsförlopp. Enligt Maximov (1914) antar hela cellen en mörk färg vid intracellulär frysning. Detta stämmer med de iakttagelser som gjorts vid behandling i denna undersökning, där de skadade växterna antog en mörkare grön färgton direkt efter behandling.

De synliga skadorna av flamning och frysning var relativt lika varandra. Några skillnader kunde dock märkas som främst tycks bero på växtsätt, art och plantans storlek. Frysning verkade främst skada växtens nedre delar medan flamning skadade hela växten. Viss tendens fanns dock att flamning vid de lägre doserna främst skadade toppen av växten. Orsaken till detta var troligen att de kalla gaserna lade sig efter marken medan värmen från flaman steg uppåt.

Vid behandling med kolsyresnö lade sig snön främst på marken. Endast en liten del stannade på växten. Den direkta skadan drabbade främst rothalsen där den kalla snön låg kvar under en längre tid. Plantorna snördes i extrema fall nästan av

vid rothalsen. Om skadan var tillräckligt stor dödades hela plantan. Ofta låg plantorna ner, men de var fortfarande gröna. Dessa plantor stannade i tillväxt en tid men de överlevde oftast och de kunde senare återhämta sig. Hos större tvåhjärtbladiga växter fungerade bladverket som ett paraply och skyddade rothalsen från snön. Plantan skadades då mycket lindrigt.

Kraftiga växter med tjocka stammar eller blad var mycket motståndskraftiga mot både frysning och flamning. De tistlar som fanns på försöksfältet påverkades i stort sett inte alls, varken av flamning eller frysning. En del av de något kraftigare växter som förekom skadades visserligen men de sköt snart nya skott igen. Detta berodde troligen på att varken värmen eller kylan hann tränga in i och skada växtens vitala delar under den korta tid som växten utsattes för behandlingen.

Olika växtarter påverkades på olika sätt och olika mycket av flamning och frysning. Pilört är ett exempel på en art som påverkades mindre av frysning jämfört med de flesta övriga ogräs.

Vid behandling med frysning och flamning på tvåhjärtbladiga växter var energiförbrukningen i samtliga fall mindre vid flamning än vid frysning för att nå 90 % reduktion av ogräsets antal och vikt.

Vid behandling av gräs var ogräseffekten lika stor vid frysning med flytande kväve som vid flamning, vid en energiförbrukning på 300-400 kJ/m². Detta berodde troligen på att gräs har en lågt sittande tillväxtpunkt. Eftersom de kalla frysgaserna lade sig längs marken skadades en lågt sittande tillväxtpunkt lättare än en högt sittande tillväxtpunkt.

Växter påverkas på olika sätt av frysning beroende på art, växtsätt och utvecklingsstadium. Frysning bör därför till viss del kunna användas selektivt. För att kunna utnyttja frysningen selektivt krävs dock vidare forskning om frysningens verkningsätt och hur olika växter reagerar på en frysbehandling.

Kostnader

Kostnaderna för ogräsbekämpning genom frysning blir med nuvarande priser och teknik mycket högre än kostnaderna för ogräsbekämpning med flamning. Priserna per m² för enbart frysmedier resp gasol blir ca 1.20 - 1.80 kr för frysning med flytande kväve, ca 4.30 kr för frysning med flytande koldioxid och 0.05 kr för gasol. Kostnaden blir alltså i de flesta fall oacceptabelt hög vid frysning.

Eftersom det går åt mycket stora volymer kylmedia jämfört med gasol för att nå samma ogräsbekämpningsresultat blir transportkostnaderna för kylmedierna

mycket höga. Det är dessutom otympligt att hantera de stora volymer kylmedia som krävs, 1.46 kg flytande kväve per m² jämfört med 0.0035 kg gasol för samma ogräseffekt.

Teknisk utrustning

Den utrustning som användes för att sprida frysmedierna på ogräsen var en mycket enkel försöksutrustning. Den kan förmodligen utvecklas för att få ett mer effektivt utnyttjande av energin, och därmed en lägre energiförbrukning. Även om detta är fallet blir det troligen svårt att utveckla utrustningen för frysning så mycket att frysning kan konkurrera med flamning vid ogräsbekämpning.

Utrustningen för spridning av flytande kväve behöver modifieras så att uttaget av flytande kväve kan bli jämnare. Vid de försök som genomförts var uttaget av flytande kväve pulserande. Dessutom var uttaget större i början än i slutet vid tömning av ett Rangerkärl. Detta resulterade i en osäker bestämning av dosen flytande kväve som har tagits ut. För att kunna bestämma den mängd flytande kväve som krävdes för en viss ogräseffekt, användes ett medelvärde för uttaget per tidsenhet. Det faktiska uttaget kan dock ha varierat. På grund av svårigheter att få ett jämnt uttag av flytande kväve vet vi alltså inte den exakta dos som använts för en viss ogräseffekt.

Miljöaspekter

Vid flamning sker ett nettotillskott av koldioxid till atmosfären. Eftersom koldioxid är en gas som ökar växthuseffekten vill man undvika att mer av denna gas tillförs atmosfären. Vid frysning av ogräs sker inget nettotillskott av koldioxid till atmosfären från själva frysmedierna. Vid tillverkningen av de båda frysmedierna används elektricitet. Elektrisk ström finns i överskott i Sverige under sommarsäsongen när frysning av ogräs är aktuellt.

Eftersom mycket stora kvantiteter frysmedia åtgår kommer dock transporterna av frysmedia att tillföra mer koldioxid till atmosfären än transporter av gasol. Flytande kväve kan transporteras max 10 mil utan att nettotillförseln av koldioxid till atmosfären blir större vid frysning än vid flamning (Larsson, 1993). Om hänsyn enbart tas till koldioxidutsläppen är frysning med flytande kväve en mer miljövänlig ogräsbekämpningsmetod än flamning, om transporterna är kortare än 10 mil.

Framtidsutsikter

Frysning av ogräs är en helt ny metod för bekämpning av ogräs. De hittills gjorda försöken visar att energiförbrukningen, är högre vid frysning med flytande kväve och kolsyresnö än vid flamning med gasollåga, vid likartad bekämpningseffekt. Av de båda frysmetoderna som undersökts är frysning med flytande kväve mindre energikrävande än frysning med kolsyresnö.

Kostnaderna för flytande kväve och flytande koldioxid är mycket höga. Därför är frysning i dagsläget en mycket dyr metod för ogräsbekämpning. Dessutom kostar det mycket att transportera och hantera de stora mängder frysmedia som krävs.

Den utrustning som använts för att sprida frysmedierna på ogräsen är en mycket enkel utrustning som byggts för att undersöka kylmetodens möjligheter. Den kan förmodligen utvecklas för att få ett mer effektivt utnyttjande av energin, och därmed en lägre energiförbrukning.

En utvecklad utrustning skulle i framtiden främst vara aktuell för bekämpning av gräsogräs, eftersom frysning där fungerar förhållandevis bra (lika bra som flamning med avseende på energiförbrukning).

Även inom vissa specialområden kan frysning vara en användbar metod för ogräsbekämpning. Som exempel kan nämnas ogräsbekämpning på platser där eldfaran är stor, t ex i parker och bostadsområden.

REFERENSER

Alfax AB. Infrysning med CO₂ och N₂. Broschyr. Malmö.

Alfax AB, 1991. Risker då syrehalten sjunker. Broschyr. Malmö.

Ascard, J. 1988. *Termisk ogräsbekämpning - Flamning för ogräsbekämpning och blstdöd*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, Rapport 130. Uppsala.

Bohgard, M; Holmstedt, G. & Korhonen, M. 1988. *Arbetsmiljö vid termisk ogräsbekämpning*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, Rapport 131. Uppsala.

Christersson, L. 1989. Frosthärdighetsutveckling hos växter. Stencil. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi och miljövård. Uppsala.

Christersson, L. & von Fircks, H. A. 1984. Sommarfrost - kalla fakta. Skogsfakta 17.

Ellwanger T. C. Jr; Bingham, S. W; Chapell, M. J. & Tolin, S. A. 1973. Cytological Effects of Ultra-High Temperatures on Corn. *Weed Science* 21 (4):299-303.

Hein, R. 1990. *Borstteknik för ogräsbekämpning på hårdgjorda ytor*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, Rapport 141. Uppsala.

Kepner, R. A; Bainer, R. & Barger, E. L. 1978. *Principles of farm machinery*. Westport, Connecticut.

Larsson, S. 1993. *Miljökonsekvensbeskrivning av termiska ogräsbekämpningsmetoder för hårdgjorda ytor*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, Rapport nr 168. Uppsala.

Maximov, N. A. 1914. Experimentelle und kritische Untersuschungen über das Gefrieren und Erfrieren der Pflanzen. *Jahrb Wiss Bot* 53:327-420. cit. Sakai & Larcher, 1987.

Mazur, P. 1977. The role of intracellular freezing in the death of cells cooled at supraoptimal rates. *Cryobiologi* 14:251-272. cit. Sakai & Larcher, 1987.

Moor, H. & Mühlenthaler, K. 1963. Fine structure in frozen-etched yeast cells. *J Cell Biol* 17:609-628. cit. Sakai & Larcher, 1987.

Nilsson, K; Nyström, P. & Svensson, S-E. 1988. *Termisk ogräsbekämpning på hårdgjorda ytor*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Movium. Gröna Fakta D1.

Nyström, P. & Svensson, S-E. 1988. *Termisk ogräsbekämpning på hårdgjorda ytor. Försöksverksamhet 1987*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, Rapport 123. Uppsala.

Sakai, A. & Larcher, W. 1987. *Frost survival of plants, Responses and adaptions to freezing stress*. Berlin.

Sakai, A & Otsuka, K. 1970. Freezing resistance af alpine plants. *Ecology* 51:665-671. cit. Sakai & Larcher, 1987.

Sakai, A.; Otsuka, K. & Yoshida, S. 1968. Mechanism of survival plant cells at super-low temperatures by rapid cooling and rewarming. *Cryobiology* 4:165-173. cit. Sakai & Larcher, 1987.

Sakai, A. & Yoshida, S. 1967. Survival of plant tissue at superlow temperature. VI. Effects of cooling and rewarming rate of survival. *Plant Physiol* 42:1695-1701.

Salisbury, F. B. & Ross, C. W. 1985. *Plant Physiology*. Belmont, California.

Statens Jordbrugstekniske Forsøg. 1992. Rapportering om et pilotforsøg vedr. "Ukrudtsbekämpfung med flydende kvælstof". Stencil.

Steponkus, P. L. 1981. Responses to extreme temperatures. Cellular and sub-cellular bases. In: Lange, O. L. et al.(eds) *Physiological plant ecology* 1. In: Lange, O. L; Nobel, P. S; Osmond, C. B; Ziegler, H (eds) *Encyclopedia of plant physiology*, vol 12A. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 371-402. cit. Sakai & Larcher, 1987.

Stolk, T. 1986. Experimenten in het Amsterdamse groen - Laserstaal wellicht onkruidbestrijder van de toekomst. *Tuin & Landschap* 23:12-15.

Svensson, S-E. 1990. Frysteknik för ogräsbekämpning på hårdgjorda ytor. Stencil. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. Alnarp.

Svensson, S-E. 1991. Borstning och harvning för ogräskontroll på hårdgjorda ytor. Sveriges Lantbruksuniversitet, Movium. Gröna Fakta D5.

Westberg, C. 1981. Flytande nitrogen mot icke önskvärd vegetation på banvallar. Stencil. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för växtodling. Uppsala.

Ziegler, P. & Kandler, O. 1980. Tonoplast stability as a critical factor in frost injury and hardening of spruce (*Picea abies* L.) needles. *Z Pflanzenphysiol* 99:393-410. cit. Sakai & Larcher, 1987.

Personliga meddelanden

Ascard, Johan. Hortonom. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. Alnarp.

Svensson, Sven-Erik. Civilingenjör. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. Alnarp.